

Д.В. Тараканов¹, В.А. Смирнов¹, М.О. Баканов¹, В.Б. Коробко²
(¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²Академия ГПС МЧС России; e-mail: den-pgs@yandex.ru)

МЕТОДИКА АНАЛИЗА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Разработана методика многокритериального анализа управленческих решений по распределению сил и средств пожарно-спасательных подразделений между участками ликвидации крупномасштабных лесных пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, управление, многокритериальный анализ.

D.V. Tarakanov, V.A. Smirnov, M.O. Bakanov, V.B. Korobko METHOD FOR ANALYZING OF MANAGEMENT DECISIONS ON THE DISTRIBUTION OF FIRE AND RESCUE UNITS IN THE LIQUIDATION OF FOREST FIRES

The developed method of multi-criteria analysis of management decisions on the allocation of forces and fire and rescue divisions between areas of liquidation of large-scale forest fires.

Key words: forest fires, management, multi-criteria analysis.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 27 декабря 2016 г.

Введение

Крупномасштабные **чрезвычайные ситуации (ЧС)**, возникающие в результате лесных пожаров на территории России, наносят колоссальный ущерб обществу и государству [1]. Для повышения эффективности управления ликвидацией лесных пожаров разработан **программно-аппаратный комплекс (ПАК)** распределения сил и средств пожарно-спасательных подразделений по участкам [2].

В качестве теоретической основы для разработки ПАК был выбран сценарный подход, предусматривающий формирование сценариев в рамках тактических и оперативных планов ликвидации лесных пожаров, позволяя рассматривать процесс управления как задачу перспективного планирования. Задача распределения сил и средств пожарно-спасательных подразделений по участкам ликвидации лесного пожара в ПАК формально представлена методикой многокритериального выбора вариантов управленческих решений. Для выбора оптимального варианта управленческого решения используются процедуры многокритериального ранжирования вариантов в порядке предпочтительности на основе информации об относительной важности критериев выбора. В совокупности методика прогнозирования динамики параметров развития лесного пожара и методика многокритериального выбора представляют аналитическую составляющую ПАК [4].

Решаемая задача состоит в расширении функциональных возможностей методики многокритериального выбора в части реализации процедур теоретико-множественного анализа управленческих решений для формализации опыта ликвидации лесных пожаров.

Методика многокритериального анализа управленческих решений

Методика многокритериального выбора ПАК включает в себя [2]:

- множество вариантов использования сил и средств пожарных подразделений $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;

- векторный критерий для многомерной оценки вариантов $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$.

Каждая компонента векторного критерия f_i оценивает результативность действий пожарно-спасательных подразделений на i -м участке тушения лесного пожара и задаётся кортежем:

$$f_i = (v_p, Q, V_{ликв}, N_{л/с}, N_{ств}, N_{ПА}), \quad (1)$$

где v_p – линейная скорость распространения лесного пожара, м/мин.;

Q – расход огнетушащего вещества, подаваемого пожарно-спасательными подразделениями, л/мин.;

$V_{ликв}$ – линейная прогнозируемая скорость ликвидации лесного пожара, м/мин.;

$N_{л/с}$ – количество личного состава пожарных подразделений, работающих при тушении лесного пожара;

$N_{ств}$ – количество задействованных на участке тушения пожара средств подачи огнетушащего вещества;

$N_{ПА}$ – количество пожарных автомобилей.

Вектор $f(x_i) = (f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_m(x_i))$ является многомерной оценкой варианта управленческого решения x_i .

Для выбора варианта управленческого решения используется методика ранжирования [5, 6], которое задаётся кортежем объектов

$$mA = \langle X, F, \Phi, \omega \rangle, \quad (2)$$

где X – множество вариантов управленческих решений;

F – векторный критерий;

Φ – обобщённый критерий выбора;

ω – коэффициенты важности компонент векторного критерия.

Обобщённый критерий выбора представляет собой мультипликативную функцию

$$\Phi(x) = \prod_{i=1}^m f_i^{\omega_i}(x), \quad (3)$$

где f_i – компонента векторного критерия F ;

ω_i – весовой коэффициент важности компоненты векторного критерия

с номером i – условие нормировки коэффициентов важности $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Для формализованного описания результатов выбора используется методика теоретико-множественного анализа управленческих решений [7], которая задаётся кортежем объектов

$$mB = \langle X, F, G, \Theta \rangle, \quad (4)$$

где X – множество вариантов управленческих решений;

F – векторный критерий;

G – векторный критерий, учитывающий информацию об относительной важности компонент векторного критерия F ;

Θ – коэффициенты относительной важности компонент векторного критерия.

Компоненты нового векторного критерия $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$, рассчитывают по формулам

$$g_j(x) = f_i(x)^{\Theta_j} \cdot f_j(x)^{(1-\Theta_j)}, \quad i \neq j, j=1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

где Θ_j – коэффициенты относительной важности критериев с номерами i и j .

Таким образом, для реализации методики теоретико-множественного анализа необходимо разработать способ расчёта коэффициентов относительной важности Θ на основе значений коэффициентов важности ω .

В многокритериальной оптимизации существует целый набор способов расчёта коэффициентов относительной важности критериев. К наиболее распространённым относятся способ сравнения по предпочтению двух парето-оптимальных вариантов управленческих решений и применение процедуры парного сравнения по важности компонент векторного критерия.

Первый способ широко распространён при решении задач "сужения" множества вариантов управленческих решений за счёт исключения одного из них, однако, на практике возникает вопрос, какую пару парето-оптимальных вариантов использовать для реализации выбора?

Второй способ осложняется применением матрицы парных сравнений компонент векторного критерия и необходимостью поиска ошибки транзитивности при экспертной оценке. Для исключения ошибки транзитивности используется схема сравнения с "образом" [8]. При реализации данной схемы необходимо выбрать одну из компонент векторного критерия в качестве "образа" и сравнить с "образом" остальные компоненты. В таком случае необходимо произвести $(m - 1)$ парных сравнений, в результате которых будут получены $(m - 1)$ коэффициентов относительной важности (m – количество компонент векторного критерия F).

Итак, пусть I – множество номеров компонент векторного критерия F , i – номер компоненты векторного критерия, принятой за "образ", тогда j – номера компонент векторного критерия, которые необходимо сравнить с "образом". В результате сравнения получают набор коэффициентов относительной важности Θ_j .

Расчёт весовых коэффициентов методики ранжирования ω для данного случая осуществляется по формуле

$$\omega_j = \frac{1 - \Theta_j}{m}. \quad (6)$$

Значение коэффициента ω_i для компоненты векторного критерия F с номером i определяется по формуле

$$\omega_i = 1 - \sum_{\forall j} \omega_j. \quad (7)$$

Пусть в многокритериальной методике $mA = \langle X, F, \Phi, \omega \rangle$ задано множество номеров компонент векторного критерия I и из этих компонент одна компонента векторного критерия выбрана за "образ", ей присвоен номер i . Компонента "образ" сравнивается с остальными компонентами, которым присвоены номера j , $j \in I \setminus i$. Известно, что весовые коэффициенты ранжирования равны ω_k , при этом $\omega_i > \omega_j$, тогда информация об относительной важности компонент векторного критерия F задаётся набором, состоящим из j коэффициентов относительной важности, определяемых по формуле

$$\Theta_j = 1 - m \omega_j, \quad (8)$$

где m – размерность векторного критерия в многокритериальной задаче.

Для декомпозиции множества вариантов управленческих решений на подмножества используется принцип оптимальности по Парето. В общем случае множество вариантов можно декомпозировать на три множества, используя последовательные включения:

$$C(X) \subset P_G(X) \subset P_F(X) \subset X, \quad (9)$$

где X – исходное множество вариантов в многокритериальной методике принятия решений;

$C(X)$ – множество выбранных вариантов;

$P_F(X)$ – множество парето-оптимальных вариантов, построенное на множестве X с использованием исходного векторного критерия $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$;

$P_G(X)$ – множество парето-оптимальных вариантов, построенное на множестве X относительно векторных оценок, полученных с использованием нового векторного критерия $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$.

При анализе управленческих решений по распределению сил и средств пожарно-спасательных подразделений между участками ликвидации лесного пожара можно считать, что в множестве $P_G(X)$ содержатся наилучшие варианты управленческих решений; в множестве $P_F(X)$ – эффективные варианты управленческих решений; в свою очередь, варианты управленческих решений, не вошедшие в множества $P_G(X)$ и $P_F(X)$, являются неэффективными и, следовательно, не должны оказаться среди выбранных.

Заключение

Автоматизация процессов принятия решений в условиях ликвидации ЧС природного характера позволяет повысить качество управления действиями пожарно-спасательных подразделений, что приведёт к снижению общих потерь и ущерба от возникновения и развития ЧС, связанных с лесными пожарами [9, 10].

Внедрение процедур теоретико-множественного анализа вариантов управленческих решений при решении задачи распределения сил и средств пожарных подразделений между участками ликвидации лесного пожара позволит осуществить формализованное описание процессов принятия решений для анализа управленческих решений при подготовке пожарных и спасателей.

Разработанные процедуры многокритериального анализа позволяют декомпозировать исходное множество вариантов на подмножества с определёнными свойствами и упорядочить множества по предпочтению относительно окончательного выбора. Стоит отметить, что совокупное использование методик ранжирования и теоретико-множественного анализа вариантов управленческих решений позволяет определить предпочтительность не только подмножеств вариантов управленческих решений, но также и предпочтительность управленческих решений внутри подмножеств, что существенно расширяет аналитическую составляющую разработанного ПАК.

Литература

1. Гундар С. В., Денисов А. Н., Трифонов Н. Я. Приемлемый лесопожарный риск // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 18. № 3. С. 57-66.
2. Математическая модель для выбора вариантов решений по расстановке пожарных подразделений при ликвидации лесных пожаров / Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В., Черепанов Д. А. // Технологии техносферной безопасности. Вып. 3 (37). 2011. 6 с. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Малый И. А., Потемкина О. В., Ермилов А. В. Методы развития профессионально значимых качеств у курсантов вуза МЧС России с применением программного обеспечения // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. 2016. № 1. С. 144-149.
4. Семенов А. О., Тараканов Д. В., Лабутин А. Н. Методика многокритериальной оценки эффективности тушения пожаров на объектах химической промышленности // Современные наукоёмкие технологии, региональное приложение. 2012. № 3. С. 101-104.
5. Тараканов Д. В., Смирнов В. А., Семенов А. О. Метод многокритериального ранжирования вариантов управления тушением пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности. Вып. 6 (70). 2016. С. 72-75. <http://academygps.ru/ttb>.
6. Топольский Н. Г., Тараканов Д. В. Алгоритм ранжирования управленческих задач в системе поддержки принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций // Технологии техносферной безопасности. Вып. 2 (54). 2014. С. 169-175. <http://academygps.ru/ttb>.
7. Тараканов Д. В. Многоагентная система моделирования тушения пожаров в социальных зданиях // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (69). 2016. С. 118-125. <http://academygps.ru/ttb>.
8. Ногин В. Д. Упрощённый вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. № 7. С. 1261-1270.
9. Терещнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность, 2012. Т. 21. № 10. С. 14-17.
10. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров / Терещнев В. В., Семенов А. О., Смирнов В. А., Тараканов Д. В. // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 9. С. 51-57.

References

1. Gundar S. V., Denisov A. N., Trifonov N. Ja. Priemlemyj lesopozharnyj risk (Acceptable fire risk) // Pozharovzryvobezопасnost'. 2009. T. 18. No 3. Pp. 57-66.
2. Matematicheskaja model' dlja vybora variantov reshenij po rasstanovke požarnyh podrazdelenij pri likvidacii lesnyh požarov (Mathematical model for choice of options for the installation of fire divisions in the elimination of forest fires) / Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D.V., Cherepanov D. A. // Tehnologii tehnosfernoj bezопасnosti. Vyp. 3 (37). 2011. 6 p. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Malyj I. A., Potemkina O. V., Ermilov A. V. Metody razvitiya professional'no znachimyh kachestv u kursantov vuza MChS Rossii s primeneniem programmogo obespechenija (Methods of development of professionally important qualities of students of the University of Emercom of Russia with use of the software) // Sovremennye naukojkie tehnologii. Regional'noe prilozhenie. 2016. No 1. Pp. 144-149.
4. Semenov A. O., Tarakanov D. V., Labutin A. N. Metodika mnogokriterial'noj ocenki jeffektivnosti tushenija požarov na obektah himicheskoj promyshlennosti (The methodology of multicriteria evaluation of the effectiveness of fighting fires on objects of chemical industry) // Sovremennye naukojkie tehnologii, regional'noe prilozhenie. 2012. No 3. Pp. 101-104.
5. Tarakanov D. V., Smirnov V. A., Semenov A. O. Metod mnogokriterial'nogo ran-zhirovanija variantov upravlenija tusheniem požarov v zdaniyah (Method of multicriteria ranking management options of extinguishing fires in buildings) // Tehnologii tehnosfernoj bezопасnosti. Vyp. 6 (70). 2016. Pp. 72-75. <http://academygps.ru/ttb>.
6. Topol'skij N. G., Tarakanov D. V. Algoritm ranzhirovanija upravlencheskih zadach v sisteme podderzhki prinjatija reshenij po likvidacii chrezvychajnyh situacij (Algorithm ranking of management tasks in a decision support system at liquidation of emergency situations) // Tehnologii tehnosfernoj bezопасnosti. Vyp. 2 (54). 2014. Pp. 169-175. <http://academygps.ru/ttb>.
7. Tarakanov D. V. Mnogoagentnaja sistema modelirovanija tushenija požarov v soci-al'nyh zdaniyah (Multi-agent system for simulation extinguishing of fires in social buildings) // Tehnologii tehnosfernoj bezопасnosti. Vyp. 5 (69). 2016. Pp. 118-125. <http://academygps.ru/ttb>.
8. Nogin V.D. Uproshhennyj variant metoda analiza ierarhij na osnove nelinejnoj svertki kriteriev (A simplified version of the hierarchy analysis method based on nonlinear convolution of criteria) // Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki. 2004. T 44. No 7. Pp. 1261-1270.
9. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Teoreticheskie osnovy prinjatija reshenij pri upravlenii silami i sredstvami na požare (The theoretical basis of decision-making in the management of forces and means on the fire) // Pozharovzryvobezопасnost', 2012. T. 21. No 10. Pp. 14-17.
10. Analiz i podderzhka reshenij pri tushenii krupnyh požarov (Analysis and decision support to extinguish large fires) / Terebnev V. V., Semenov A. O., Smirnov V. A., Tarakanov D. V. // Pozharovzryvobezопасnost'. 2010. T. 19. No 9. Pp. 51-57.